

DOI:10.3969/j.issn.1672-0636.2012.02.009

# 综合地质-地球物理方法 在金矿中的应用

邓华波<sup>1</sup>, 刘章月<sup>2</sup>, 刘 猛<sup>1</sup>, 曹锦元<sup>1</sup>, 郭方晶<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083;  
2. 核工业北京地质研究院, 中核集团铀资源勘查与评价技术重点实验室, 北京 100029)

**[摘要]** 河北省丰宁县坝州营金矿床赋存于五台期侵位的“变闪长岩”中, 该区从太古代到中生代长期处于构造隆升剥蚀状态, 发育多期岩浆侵位事件, 为金矿提供了充分的成矿条件。根据区域地质背景及围岩蚀变、矿化等特征, 推断本矿床属于受构造控制的中-低温热液石英脉型金矿。结合矿区地质特征开展地球物理工作, 以高密度电法圈定了地下矿化体的范围, 辅以音频大地电磁测量, 实现探测相对深部断裂构造, 并以钻探证实, 取得了找矿突破, 达到了推断控矿构造的走向和找矿前景等目的。

**[关键词]** 坝州营地区; 石英脉型金矿; 地球物理方法; 找矿前景

**[中图分类号]** P631    **[文献标志码]** A    **[文章编号]** 1672-0636(2012)02-0110-05

## Application of comprehensive geological-geophysical method in gold deposit

DENG Hua-bo<sup>1</sup>, LIU Zhang-yue<sup>2</sup>, LIU Meng<sup>1</sup>, CAO Jin-yuan<sup>1</sup>, GUO Fang-jing<sup>1</sup>

(1. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;  
2. CNNC Key Laboratory of Uranium Resources Exploration and Evaluation Technology,  
Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Bazhouying gold deposit occurs in epidiorite which invaded in Wutai period, this area has experienced tectonic uplifting and eroding from Archean to Mesozoic and lots of magma emplacement events which provided the favorable condition for the ore-forming process. The gold mineralization is inferred to be low-mid temperature quartz-vein type controlled by faults. In this paper geophysical works is chose according to the geological character of the ore district, the range of the mineralized bodies underground are delineated by high density electrical method and the deeper parts of faults are detected by EH4 and then verified by drilling. Finally the trend of the ore-controlling structure is deduced and breakthrough prospecting result have been obtained for gold deposit.

**Key words:** Bazhouying area; quartz-vein type gold deposit; geophysical method; exploration prospect

丰宁—承德地区位于冀北尚义—赤城—平泉金成矿带的东段, 该区矿产资源丰富, 成矿阶段众多。但越来越多的资料表明, 印

支期—燕山期(119~235 Ma), 特别是燕山期是矿产形成的重要时期<sup>[1-2]</sup>。金矿类型以石英脉型金矿为主, 其次为蚀变岩型。此区金矿

**[收稿日期]** 2011-10-25; **[修回日期]** 2012-03-06

**[作者简介]** 邓华波(1986—), 男, 四川南充人, 硕士研究生, 研究方向: 构造地质学。

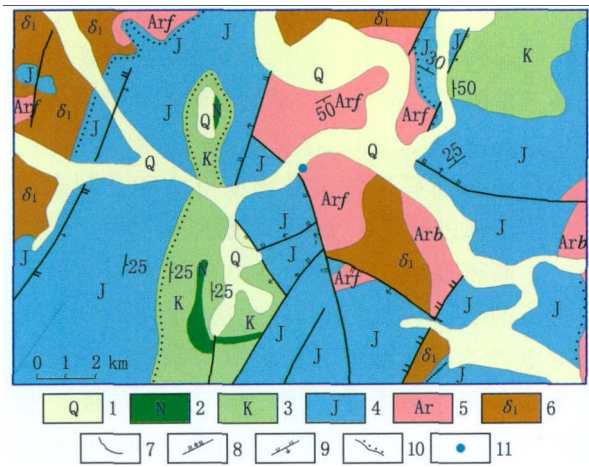
E-mail: dhh\_139@163.com

床优越的成矿条件和明显的控矿特征使其在全国都称得上是典型的矿床类型<sup>[3]</sup>, 据该地质特点, 建立了一套“以基础地质评价为基础, 以物探工作为主要手段, 以钻探工程验证实现攻深找矿<sup>[4]</sup>”的综合地质-地球物理方法找矿思路, 并取得了良好的效果, 笔者认为, 此方法在丰宁—承德地区都具有重要的推广意义。

1 成矿地质特征

1.1 区域地质

坝州营金矿区位于燕山台褶带次级构造单元——华都山岩浆岩带与承德拱断束界线以东。区内主要出露太古界闪长岩( $\delta_1$ ), 上太古界单塔子群白庙组(Arb)、凤凰嘴组(Arf), 侏罗系上统白棋组( $J_3b$ )、张家口组( $J_3z$ ), 白垩系下统青石砬组( $K_1q$ )。矿区位于EW向大型褶皱窄岭—缸房复式背斜南翼, 幅内断裂构造以NE—NNE、NW向为主, 其中NW向断裂多与金矿关系密切。区内火山活动、岩浆侵入作用强烈, 五台期侵入的闪长岩在幅内呈NE向岩基出露, 称作“变闪长岩”<sup>[5]</sup>。太古代闪长岩分布于东南部, 燕山期的中酸性喷出岩、凝灰岩在区内广泛出露(图1)。



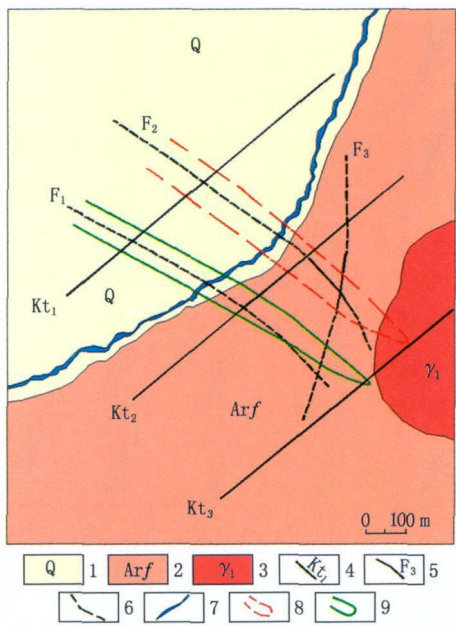
1——第四系松散沉积物; 2——古近系、新近系; 3——白垩系: 凝灰质砂砾岩、角砾岩、砂岩、粉砂泥质岩夹页岩, 局部夹有煤层; 4——侏罗系: 中酸性火山岩或火山熔岩夹砾岩、砂岩、煤层等; 5——上太古界单塔子群: 变粒岩、片麻岩、斜长角闪岩夹大理岩、混合岩化变粒岩、浅粒岩夹片麻岩; 6——太古代闪长岩; 7——地层界线; 8——正断层; 9——逆断层; 10——不整合; 11——矿区位置

图1 坝州营金矿区域地质图  
Fig.1 Regional geologic map of Bazhouying gold mine

1.2 矿区地质

1.2.1 矿区地质概况

矿区主要出露太古界单塔子群凤凰嘴组(Arf), 其分布于矿区南部和东部, 岩性为黑云角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩夹薄层磁铁石英岩, 有较多的角闪质岩石和夹磁铁石英岩为特征, 局部混合岩化, 偶见条带状混合岩, 在花岗岩接触带附近, 岩石混染强, 并有较多的长英质脉岩穿插。矿区主要发育3条断层, 断层 $F_1$ 、 $F_2$ 发育在变闪长岩体中, 走向NW, 倾向SW, 倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ,  $F_2$ 与金矿的关系最为密切。太古界凤凰嘴组中变质的角闪类岩石, 其原岩部分为基性火山碎屑岩和基性熔岩, 代表本期发生了较强的火山喷溢活动。该期岩浆侵入活动亦较为强烈(图2)。



1——第四系; 2——太古界单塔子群凤凰嘴组; 3——太古代花岗岩; 4——勘探线及编号; 5——断层及编号; 6——推测断层; 7——河流; 8——物探异常范围(优); 9——物探异常范围(差)。

图2 坝州营金矿区综合地质图  
Fig.2 Comprehensive geologic map of Bazhouying gold mine

“变闪长岩”呈岩基侵位于太古代凤凰嘴组中, 仅在局部陡坎剥露区有斑点出露。地下坑道与钻孔资料表明, 岩体与老地层接触关系时明时混, 局部为过渡关系。岩体边部片麻岩类捕虏体较多, 且边部岩石粒度较细, 呈块状或似片麻状构造。主要造岩矿物为斜

长石和角闪石,少量石英、黑云母和绿帘石,属中偏基性侵入岩,是本区金矿的“矿源层”之一。

### 1.2.2 矿体及矿石特征

坝州营金矿区目前已圈出 1 个金矿体,控制长度为 400 m,最大控制延深为 320 m,平均厚度为 1.09 m,属小型规模。矿体形态呈脉状,厚度变化为 0.80~1.38 m,属较稳定型。该矿体主要有益组分为 Au,其他元素暂不具备工业意义。

矿石结构主要有晶粒结构、碎裂结构、压碎充填结构和交代结构。矿石构造主要有条带状构造、细脉浸染状构造和浸染状构造。矿石矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、闪锌矿、方铅矿、自然金、褐铁矿、蓝铜矿和孔雀石等。脉石矿物有石英、钾长石、斜长石、角闪石、黑云母、绢云母、白云母、绿泥石和方解石等。

### 1.2.3 围岩蚀变特征

矿区主矿体主要赋存于断层两侧的碎裂岩中,矿区围岩蚀变很普遍。金矿(化)脉的围岩蚀变主要有钾长石化、硅化、黄铁矿化、绿泥石化、黏土化及碳酸盐化等,显示出低温热液矿物组合的蚀变特征。围岩蚀变特征在金矿脉旁普遍具有分带现象。

### 1.3 矿床成因探讨

太古代时期,区内发育强烈的火山喷发和岩浆侵入,形成了目前相对富含 Au、Ag、Fe 等金属元素的基性基底,随后伴随着区内的区域变质等作用,原岩中的有益组分进一步被活化、富集,形成第 1 矿源层。太古代至中生代区域长期处于构造隆升剥蚀状态,并发育多期岩浆事件,携带丰富的 Au、Ag 等元素的同时进一步萃取围岩中的有用元素,形成了本区的第 2 矿源层<sup>[6]</sup>。

海西运动晚期,火山活动主要表现为花岗质岩浆的侵位,随着侵入活动的结束,大量的富含 S、Cl 等挥发组分和携带着 Au、Ag、Fe 等的硫化物岩浆上升侵位,以络合物形式进一步萃取围岩中的金属元素,并在水线附近进行物质与能量的交换,但热液运移至裂隙、破碎带处,由于物理-化学环境的变化使大量的有益组分沉淀下来,同时与围岩进

行强烈的交代作用,最终形成了本区含金石英脉型、破碎蚀变岩型金矿。

## 2 综合地质-地球物理方法

### 2.1 地质方法

#### 2.1.1 构造、岩性特征

发育在太古代变闪长岩中的 NW 向断裂构造是本矿区直接的找矿标志。

#### 2.1.2 含金地质体露头特征

区内金矿床类型主要为灰色石英脉型、其次为蚀变岩型,它们在地表的露头是直接的标志。

#### 2.1.3 围岩蚀变特征

外层为围岩(变闪长岩或片麻岩),向内岩石发生片理化和破碎,产生退变质作用,围岩中角闪石发生水化,转变为黑云母,进而蚀变为绿泥石。此时可有结晶好(常为立方体晶形)的黄铁矿出现,有微弱的金矿化。在内带,出现绢云母化、弱硅化和或有或无的钾长石化,岩石明显褪色,普遍有黄铁矿化和金矿化。

### 2.2 地球物理方法

#### 2.2.1 方法选择

依据本区矿石中含有大量硫化物和石英脉,金矿体多以脉状、网脉状、细脉浸染状产于花岗闪长岩中,矿化分带明显,成矿与岩体关系明显的特点,可推导出矿体与围岩的导电性差异不大,但是存在明显的激电性差异<sup>[7]</sup>。因此,可在矿区使用高密度电法和音频大地电磁法来进行找矿预测,并施钻以验证。

高密度电法是一种在方法技术上有较大进步的电阻率法或激发极化法,以岩(矿)石的导电性差异和激电异常效应为基础。高密度电法采用了多电极高密度一次性布极,仪器按照预先设定工作方式自动变换供电电极与接收电极的位置,实现了数据自动采集功能,用于探测深度小于 200 m 的浅部精细地质结构,并查明工作区内的激电异常区域与矿体、含矿围岩位置的关系;而音频大地电磁法则可弥补高密度电法探测深度较浅的不足,实现探测深部电性结构特征、推断相对深部断裂构造的目的,并验证音频大地电磁测量结果所反映的深部信息是否可作为推断高密度

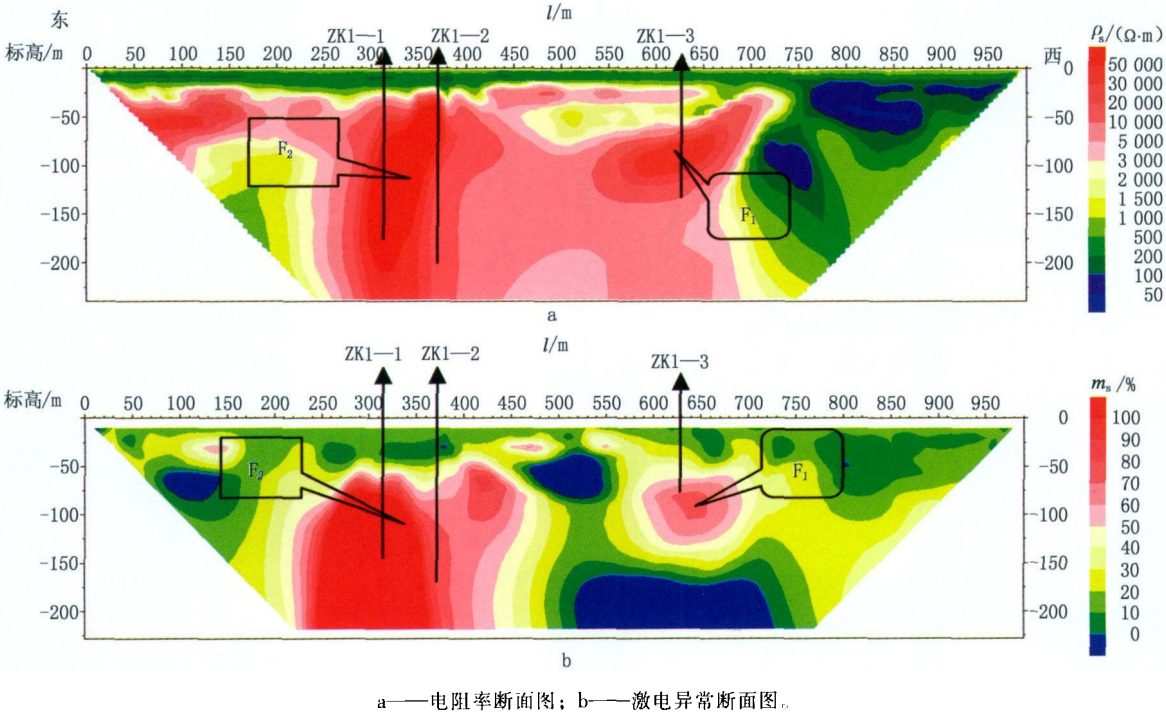


图 3 坝州营高密度测量 1 号线反演断面图

Fig. 3 Reverse derived section of No.1 in Bazhouying with high density electrical method

电阻率异常及激电异常深部延伸的依据。

2.2.2 工作部署

根据前期地质调查工作成果和野外现场施工的实际需要，分别在矿区的 3 条勘探线上各自布设高密度电法剖面 1 条，并单独在 Kt<sub>2</sub> 上多布设 EH4 剖面 1 条(图 2)。

2.2.3 方法应用

2.2.3.1 高密度电法测量地球物理特征及其解释

由图 3 可见，本剖面存在两个高阻、高级化异常，分别位于剖面 250~400 m 和 580~690 m。其中，250~400 m 异常规模较大，埋深 30 m，厚度大于 200 m，且异常向下未圈闭(图 3)，推测为矿区导矿断裂通过的位置，同时也是主要矿体和含矿围岩的位置。580~690 m 异常埋深约 50 m，厚度 70 m。另外，剖面上存在的 3 处负激电异常也应引起重视，分别位于剖面 70~150 m、450~550 m 和 500~750 m 处，因为这些负异常可能是由于含水构造所致。

2.2.3.2 EH4 测量地球物理特征及其解释

由坝州营剖面的音频大地电磁测量结果可见(图 4)，视电阻率异常表现为低阻、高阻相间特征，说明该地段电性分布局部有变化，

但岩性可能并没有发生大的变化，视电阻率异常是由于局部岩性不均一或断裂构造所致。异常在剖面 100~240 m、340~420 m 和 660~700 m 主要表现为高阻特征，向下延伸

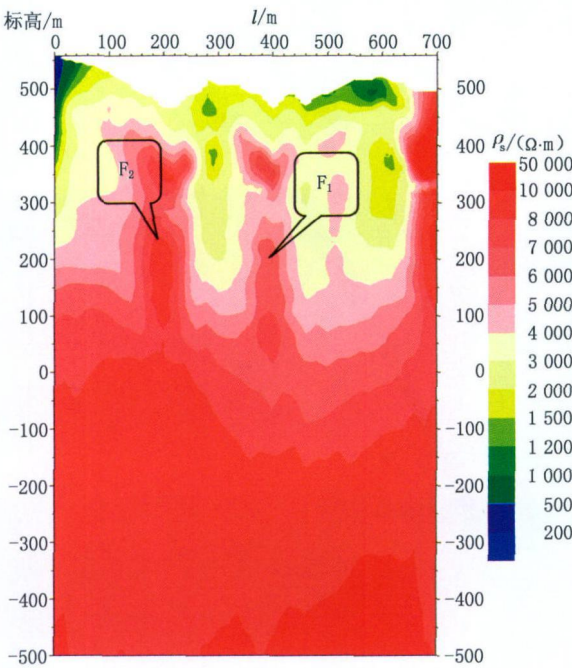


图 4 坝州营 2 号剖面音频大地电磁测量剖面视电阻率断面图

Fig.4 Apparent resistivity section No.2 in Bazhouying with acoustic magnetotelluric survey



可至 400 m。将音频大地电磁测量结果与高密度测量结果对比可发现，二者所反映的电阻率异常特征大体一致，低阻、高阻异常相间非常吻合。因此，音频大地电磁测量结果所反映的深部信息可作为推断高密度电阻率异常及激电异常深部延伸的依据。

2.2.4 小结

结合 1 号剖面的地球物理特征点，坝州营金矿所表现出来的地球物理异常具有两组“高阻、高极化”特征。实测的 3 条高密度电法剖面所显示的高阻、高极化异常在平面上构成 2 条呈 NW 向展布的异常范围(图 2)与矿区内 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 的展布一致，其中东部异常特征显著、规模较大，并与该区正在开采的金矿体和 1 号勘探线钻孔资料吻合(图 5)，且该矿带向西北方向稳定地延伸而没有尖灭，具有较好的找矿潜力；而西部异常规模较小，有待于钻探揭露证实。

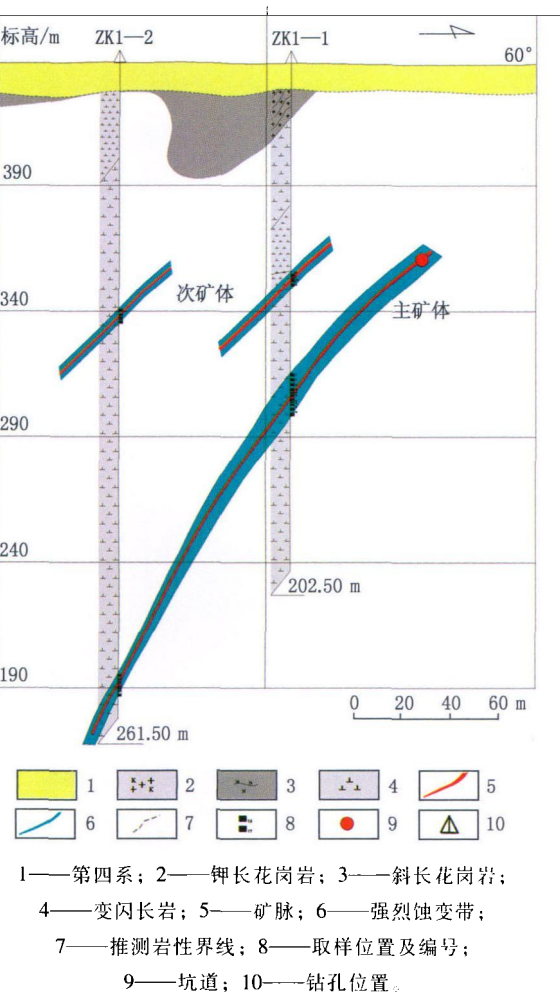


图 5 1 号勘探线钻孔剖面图  
Fig. 5 Drill hole profile of exploration line No.1

3 实际找矿效果

结合矿区地质、地球物理特征，笔者在 1 号勘探线布设钻孔验证工作并圈出了矿体(图 5)，证明了本次综合地质-地球物理方法在本区的有效性。

另外，从地表零星分布的极小探矿私窰来看，浅部有达到工业品位的金矿化，但是并不连续，钻孔资料也可见少量矿化岩心，特征是品位低、不连续、随机性、矿脉产状不稳定；与浅部相比，深部矿体具有产状稳定、较为连续、品位偏高的特征。可推断矿区深部具有极佳的找矿潜力。

4 结论

(1) 坝州营金矿属于构造控矿，区域上的窄岭—缸房复式背斜和矿区断层共同控制了矿体的产状和分布；该区从太古代到中生代长期处于构造隆升剥蚀状态，因为海西期和燕山期的多次构造和岩浆作用的影响，为金矿提供了充分的条件，最终该区形成了含金石英脉型、蚀变岩型金矿。

(2) 在 1 号勘探线上布置高密度电法，依据对应地质体的电性与激发极化特性的对应关系，查明地球物理异常具有两组“高阻、高极化”特征。两种物探方法所反映的电阻率异常特征大体一致，低阻、高阻异常之间非常吻合。因此，音频大地电磁测量结果所反映的深部信息可作为推断高密度电阻率异常及激电异常深部延伸的依据。

(3) 物探信息显示矿区的 F<sub>2</sub> 断层规模较大，向 NW 方向稳定延伸而没有尖灭；钻探资料证明，深部矿体具有产状稳定、连续、品位更高的特征。因此可判断矿区具有良好的找矿前景。

(4) 在丰宁—承德地区，笔者认为，综合地质—高密度电法—音频大地电磁法的找矿方法值得推广。

[参考文献]

[1] 杨 举，吕作刚. 河北省丰宁—承德地区金成矿条  
(下转第 118 页，Continued on page 118)

素，根据工艺不同而分配到各产品中，锡精矿中放射性测量结果如表 5 所示。

表 5 各产品放射性比活度  
Table 5 The specific radioactivity of each products

产 品	核素比活度, $a_{\text{Bq}}/(\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1})$		
	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$
原矿(尾渣)	790	9 856	6 147
锡精矿( $\text{Sn}>60\%$ )	65	4 876	3 245
尾 矿	44	3 617	2 630

由于每一种放射性核素比活度低于 1 000  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  才能达到冶金行业产品标准<sup>[4]</sup>，所以必须进行放射性去污。放射性较高的锡精矿可通过 5%  $\text{HNO}_3$  处理降低其放射性比活度。酸洗后锡精矿的放射性测量如表 6 所示。

表 6 酸洗锡精矿的放射性去污结果  
Table 6 The specific radioactivity of Sn concentration after pickling

产 品	核素比活度, $a_{\text{Bq}}/(\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1})$		
	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$
5% $\text{HNO}_3$ 酸洗	13	1 005	733

由表 6 可见，经  $\text{HNO}_3$  洗涤去污，锡精矿中放射性核素水平基本符合标准要求。

4 结 论

(1) 通过分析研究表明，某冶炼场尾渣中铀、钍、镭和锡等元素回收价值较高，钍、

钍主要以钍铁矿、钍铁矿形式存在，锡主要以锡石存在，部分富含铁。

(2) 温度和时间对尾渣中铀浸出都有显著影响。常温下，2%的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  浸出 100 h，铀浸出率达到 80%以上。

(3) 重选抛尾后，钍、钍和锡等富集到重矿物中。钍铁矿、钍铁矿磁性较强可通过弱磁选实现回收，钍精矿品位达 31%以上。

(4) 通过强磁选除去锡石中的弱磁性矿物，提高锡精矿品位，达到 62%以上。锡回收率达到 65%以上。

(5) 经过  $\text{HNO}_3$  洗涤，其锡精矿放射性比活度基本达到冶金行业要求。

[参考文献]

[1] 全国有色金属标准化技术委员会. YS/T 358-1994 钍铁矿、钍铁矿化学分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.

[2] 全国有色金属标准化技术委员会. YS/T 394-2007 钍精矿[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.

[3] 全国有色金属标准化技术委员会. YS/T339-2002 锡精矿 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

[4] 全国有色金属标准化技术委员会. GB20664-2006 有色金属矿产品的天然放射性限值[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.

(上接第 114 页, Continued from page 114)

件及找矿标志[J]. 黄金科学技术, 2006, 14(2): 52-56.

[2] 王宝德, 牛树德, 孙爱群, 等. 冀北地区中生代金银多金属矿床成矿物质来源和深部过程探讨[J]. 地质学报, 2003, 77(3): 379-386.

[3] 李久明, 巩恩普, 姚玉增, 等. 冀北丰宁银(金)矿床地质、地球化学特征及成因[J]. 地质找矿论丛, 2006, 21(4): 241-247.

[4] 郭长华, 高明, 张翔军, 等. 河北省丰宁县茶棚银矿地质、地球物理特征及找矿意义[J]. 矿产与地质, 2009, 23(5): 462-468.

[5] 王保明, 张玉华, 夏国礼. 中华人民共和国地质图说明书 (1:50 000) 窄岭幅(K-50-102-D) [M]. 石家庄: 河北省地质矿产局, 1993.

[6] 黄光宇, 陈定生, 陈润泉, 等. 河北省丰宁满族自治县黑山咀镇大营子金矿勘探地质报告[R]. 三河: 华北有色地质勘查局综合普查大队, 1993.

[7] 马德锡, 杨进, 于爱军, 等. 高密度电法在金矿探矿应用中几个问题的研究[J]. 黄金, 2010, 31(1):15-19.